dr hab. inż. Jan Kudełko [1)]
mgr inż. Dorota Nitek [1)]

Recenzent: dr inż. Andrzej Grotowski

Wykorzystanie odpadów z działalności górniczej jako substytutów surowców mineralnych

Słowa kluczowe: odpady flotacyjne, składowanie i zagospodarowanie odpadów

Streszczenie
Podstawowe działania dotyczące odpadów przemysłowych ukierunkowane są na zapobieganie ich powstawaniu, wspieranie recyklingu lub odzysku, a także na wykorzystanie ich jako substytutów surowców mineralnych. Celem nadrzędnym takiego podejścia jest zredukowanie negatywnego oddziaływania odpadów na środowisko. Prowadzone przez instytucje naukowe liczne prace badawcze skupiają się przede wszystkim na poszukiwaniu możliwości ich praktycznego wykorzystania przez różne podmioty gospodarcze. Ilość odpadów powstających w procesie flotacji rud miedzi od dawna absorbuje badaczy, którzy starają się znaleźć najlepsze, efektywne kosztowo i przyjazne dla środowiska rozwiązania dla ich zagospodarowania. Poszukiwane są nowe technologie pozwalające identyfikować odpady jako wartościowe surowce wtórne. Przedstawione w artykule badania dotyczą możliwości wykorzystania odpadów w drogownictwie. Otrzymane wyniki są bardzo obiecujące i potwierdzają przydatność odpadów jako substytutu, dla niektórych składników wykorzystywanych do budowy nawierzchni drogowych.

Wprowadzenie

Eksploatacja złóż, jak każda działalność górnicza, prowadzi do naruszenia pierwotnego, naturalnego stanu równowagi w środowisku przyrodniczym: litosferze, hydrosferze i biosferze. Pozostawia widoczne piętno w środowisku wodnym, ukształtowaniu terenu oraz istotnie wpływa na możliwości zagospodarowania zdegradowanych obszarów związanych. W efekcie obserwuje się powstawanie typowych szkód górniczych. Działalność górnicza intensywnie przyczynia się jednak do szybkiego rozwoju gospodarczego i społecznego regionu, w którym jest prowadzona. Z drugiej strony powoduje w sposób bezpośredni lub pośredni negatywne oddziaływanie na środowisko. W zasadzie każdej eksploatacji złóż towarzyszy wydobywanie skał płonnych i składowanie ich na powierzchni lub w wyrobiskach górniczych. Ślady tej działalności są widoczne w postaci hałd i składowisk. Niejednokrotnie stanowią nienaturalny element krajobrazu, tworząc zazwyczaj wyniesienia o różnym kształcie i wysokości. Zajmują powierzchnie upraw rolnych i leśnych, stwarzając zagrożenie z uwagi na możliwość tworzenia się osu-

[1)] *KGHM CUPRUM sp. z o.o. – CBR, ul. gen. Wł. Sikorskiego 2-8, 53-659 Wrocław*

wisk. Jednocześnie negatywnie wpływają na wodę i glebę. Niekiedy nawet po zrekultywowaniu są dalej widoczne.

Tworzenie hałd prowadzi do zmiany pierwotnego charakteru użytkowania powierzchni, powodując poważne zmiany w ekosystemie. Należy również zaznaczyć, że likwidacja kopalń generuje kolejne zaburzenia w środowisku, które ukształtowało się na nowo w czasie długoletniej eksploatacji górniczej. Szczególnie intensywne zmiany zachodzą w środowisku wodnym i gruntowym.

Zaprzestanie odwadniania kopalń powoduje wypełnianie się regionalnych lejów depresji, oraz prowadzi do osuszenia niektórych zbiorników powierzchniowych, podmakania obszarów zalesionych i łąk, w efekcie obserwuje się zmianę klasyfikacji gruntów oraz rozwój typowo bagiennej roślinności, zamieranie lasów, zmniejszenie przepływu wody w ciekach powierzchniowych w wyniku zaprzestania zrzutu wód kopalnianych, występowanie samoistnych wypływów z pozostawionych otworów, co powoduje kolejne podtopienia i zalewanie terenu. Na budowlach obserwuje się zawilgocenie lub zalanie fundamentów i dolnych kondygnacji niektórych budynków.

W szeroko rozumianych problemach związanych z ochroną środowiska niewyjaśniony pozostaje charakter oraz rola metali ciężkich i toksycznych, znajdujących się na hałdach. Ustalenie rozmiarów ich koncentracji i możliwości przemieszczania jest nieodzowne z uwagi na ustalenie intensywności oddziaływania na środowisko.

Zagospodarowania hałd i terenów zdegradowanych domaga się racjonalna gospodarka zasobami przyrody oraz opinia publiczna, dla której problemy te są ważne i pilne. Oprócz konkretnych działań, które mają na celu skuteczne likwidowanie szkód wynikających z wcześniejszej działalności górniczej, bardzo ważna jest też edukacja ekologiczna w tym zakresie.

1. Metody gospodarowania odpadami górniczymi

Większość odpadów górniczych generowana jest przede wszystkim w procesie przeróbki kopaliny, a także podczas udostępniania złoża rudy przeznaczonego do eksploatacji. Odpady powstałe na tych etapach różnią się w istotny sposób w zależności od sektora przemysłu, w którym powstają, a także od sposobu przeróbki surowca. Biorąc pod uwagę parametry fizyczne odpadów (skład granulometryczny) i geochemiczne (skład chemiczny, a zwłaszcza właściwości ARD – *Acid Rock Drainage*), mogą one różnić się znacznie w różnych miejscach składowiska, pomimo pochodzenia z tego samego źródła. Istnieje także duża zmienność w ilości odpadów wytwarzanych w kolejnych etapach procesu produkcyjnego, zmienia się również ich rodzaj.

Pomimo tych uwarunkowań można stwierdzić, że istnieje pewna ograniczona liczba rozwiązań w zakresie zarządzania różnymi rodzajami odpadów.

Główne metody zarządzania odpadami obejmują:
- składowanie na powierzchni w hałdach,
- składowanie na powierzchni w stawach osadowych,
- wypełnianie starych wyrobisk poeksploatacyjnych,
- zasypywanie zamkniętych odkrywek lub nieczynnych wyrobisk w działających kopalniach,
- wykorzystanie odpadów do celów budowlanych (drogi, tamy, obiekty przemysłowe, materiały wypełniające, kruszywa, warstwy izolacyjne, itp.).

Z wyżej wymienionych metod zarządzania odpadami, składowanie na powierzchni w hałdach, stawach osadowych i starych wyrobiskach jest ciągle najbardziej popularną metodą unieszkodliwiania odpadów. Nie wymagają one zbyt dużej obróbki technologicznej, ani też zbytnio rozbudowanej logistyki.

Najbardziej interesujące wydaje się zagospodarowanie wytworzonych odpadów do budowy dróg samochodowych, ponieważ takie przedsięwzięcie wiążą się na ogół z zapotrzebowaniem na duże i bardzo duże ilości surowców mineralnych. Zdarza się niekiedy, że bilans materiałów dla budowanego odcinka drogi jest ujemny, co wiąże się z koniecznością sprowadzenia go spoza analizowanego obszaru. Kierując się kryterium ekonomicznym, najlepszym wydaje się pozyskanie odpowiedniego materiału z najbliżej zlokalizowanego złoża surowców skalnych. W przypadku braku takich złóż należy poszukiwać innych źródeł zaopatrzenia. Korzystnym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie o wiele tańszego produktu, to znaczy odpadów z przeróbki surowców mineralnych, o ile jest taka możliwość.

Innym sposobem wykorzystania odpadów z przemysłu górniczego w drogownictwie jest zastosowanie ich jako tańszych substytutów materiałów podstawowych do konstrukcji drogowych, niezbędnych do:
- stabilizacji i ulepszania gruntów pod nawierzchniami drogowymi zamiast cementu i wapna,
- podbudowy drogowej zamiast kruszyw naturalnych,
- wytwarzania betonu, z którego powstają warstwy nawierzchni, (można stosować materiały odpadowe jako substytuty odpowiednio: kruszywa, wypełniacza lub spoiwa).

Kolejny kierunek wykorzystania odpadów w drogownictwie jest stosunkowo najmłodszy i powstał na fali szerokiego zainteresowania społeczeństwa postindustrialnego problematyką ekologiczną. W dyskusjach na temat, jak ograniczyć ujemne oddziaływanie przemysłu na środowisko, szybko pojawiło się zagadnienie konieczności wykorzystania ogromnych mas odpadów. Wskazano także na potrzebę sięgnięcia nie tylko do środków zachęty, ale również do środków przymusu. Realizatorem takiego podejścia powinny być odpowiednie instytucje państwowe działające na podstawie upoważnień ustawowych. Takie przesłanki były podstawą realizacji najnowszych opracowań techniczno-badawczych z tego zakresu [1].

Warto wspomnieć że wymuszone stosowanie odpadów w drogownictwie w Polsce ma już miejsce. Umożliwia to rozbudowany w ostatnich latach, zwarty system prawa ekologicznego oraz wzrastająca aktywność jednostek ochrony środowiska, wojewódzkich i lokalnych wydziałów ochrony środowiska oraz wydziałów nadzoru budowlanego. Pozwala to na przykład w decyzjach o pozwoleniu na budowę, w tym budowę drogi, postawić warunek wykorzystania lokalnego, dostępnego materiału odpadowego i warunek ten z całą mocą prawa wyegzekwować. Warto w tym miejscu przytoczyć znany na arenie międzynarodowej akronim NIMBY (*Not In My Back Yard*), w Polsce znane też jako "nie w moim ogródku" – potoczne określenie postawy osób, które wyrażają swój sprzeciw wobec pewnych inwestycji w swoim najbliższym sąsiedztwie, choć nie zaprzeczają, że są one potrzebne w ogóle. Są więc za ich powstaniem, ale w zupełnie innym miejscu, z dala od ich domostw. Dotyczy to w szczególności takich uciążliwych inwestycji jak budowa autostrad, linii kolejowych, oczyszczalni ścieków czy też składowisk odpadów komunalnych. Sprzeciw wobec powstawaniu takich inwestycji związany jest nie tylko z troską o zdrowie, ale też z obawą o spowodowanie spadku cen nieruchomości.

2. Charakterystyka doświadczeń różnych ośrodków badawczych

Od wielu lat na arenie europejskiej obserwuje się zwiększone zainteresowanie regionalnym wykorzystywaniem odpadów przemysłowych, przy czym w ostatnim dwudziestoleciu zagadnienie to nabiera coraz większego znaczenia z uwagi na [2]:

- rozwój przemysłu, powodujący wzrost ilości materiałów odpadowych i produktów ubocznych,
- potrzebę ochrony środowiska, wymuszającą intensyfikację działań w zakresie eliminacji odpadów i ich uzdatniania celem właściwego zagospodarowania,
- narastające trudności składowania dużych ilości odpadów ze względu na brak terenu,
- wzrost zapotrzebowania na kruszywa, a więc konieczność poszukiwania nowych materiałów zastępczych, np. wśród materiałów odpadowych zgromadzonych na hałdach lub z bieżącej produkcji, bądź pozyskiwanych na budowach.

Te sprzężenia spowodowały, że w większości krajów zajęto się licznymi, nieraz nawet ignorowanymi odpadami. Podjęto systematyczne poszukiwania nowych metod wykorzystania odpadów, w szczególności w robotach drogowych. Obecnie w krajach Zachodniej Europy prace badawcze i wdrożeniowe dotyczą możliwości wykorzystania kilkudziesięciu rodzajów odpadów przemysłowych i komunalnych z zastosowaniem różnych technologii i zabezpieczeń przed ujemnymi wpływami na środowisko naturalne. Zaostrzenia w ostatnich latach wymagań ekologicznych spowodowały spadek zastoso-

wania odpadów uciążliwych i szkodliwych, jak np. smoły, mączki azbestowej, siarki, a dla innych odpadów stosowanych od dawna (popioły, żużle) wprowadza się odpowiednie zabezpieczenia ochronne przed zanieczyszczeniem terenu i wód gruntowych. Wzrastają wymagania techniczne i ekologiczne w zakresie wytwarzania odpadów. Producenci zajmują się więcej odpadami niż robili to dotychczas. Wprowadzają modyfikacje procesów obróbki oraz uwzględniają segregowanie, ulepszanie i składowanie zapewniające otrzymywanie odpadów bardziej odpowiadających wymaganiom użytkowników.

Stosowanie odpadów urosło do problemu światowego. Największym zainteresowaniem w drogownictwie cieszą się odpady lub produkty uboczne występujące w dużych ilościach, mogące znaleźć zastosowanie jako materiały zastępcze do budowy nasypów oraz podbudów drogowych. W mniejszych ilościach stosowane są odpady po uzdatnieniu jako dodatki w technologiach nawierzchniowych.

Analizując dostępne publikacje światowe na temat możliwości zastosowań odpadów flotacyjnych, możemy stwierdzić, że dotychczasowe badania potwierdziły możliwość zastosowania odpadów flotacyjnych w ceramice przy wykorzystaniu metod termicznych. W połączeniu z innymi składnikami otrzymuje się brązowe i czarne pigmenty dla szkliwa ceramicznego i glazury [3]. Stwierdzono także, że dodatek odpadów flotacyjnych do mieszanek ceramicznych powoduje zmniejszenie skurczliwości produktów ceramicznych oraz redukcję absorpcji przez nie wody [4,5].

Ciekawe wyniki otrzymano z badań wykorzystania odpadów flotacyjnych jako źródła związków żelaza do produkcji spoiwa hydraulicznego, to jest cementu portlandzkiego. Spoiwa hydrauliczne stanowią grupę mineralnych materiałów wiążących, które po wymieszaniu z wodą wiążą, twardnieją i zachowują trwałość, zarówno na powietrzu, jak i w wodzie [6]. Należą do nich cementy zawierające zmielony klinkier portlandzki, określane jako cementy powszechnego użytku oraz cementy specjalne, o wysokiej odporności na siarczany, niskim cieple hydratacji, a także cementy niskoalkaliczne. Spoiwami hydraulicznymi są również cementy glinowe, cementy romańskie oraz wapno hydrauliczne. Możliwości wykorzystania określonych odpadów są determinowane głównie składem chemicznym surowców podstawowych, rodzajem produkowanego cementu, wyposażeniem technicznym danego zakładu oraz uwarunkowaniami ekonomicznymi. Odpady w zależności od ich charakteru znajdują w cementowniach zastosowanie jako:

– składniki namiaru surowcowego do wytwarzania klinkieru portlandzkiego,
– składniki główne lub składniki drugorzędne cementu,
– regulatory czasu wiązania cementu,
– paliwa zastępcze w procesie produkcji cementu portlandzkiego i glinowego,
– intensyfikatory mielenia cementu.

W stosowanej technologii betonu ogromną uwagę skupiono na możliwości modyfikowania struktury materiałów cemento-pochodnych przez stosowanie np. dodatków mineralnych takich jak: popioły lotne, żużle wielkopiecowe, mączki wapienne czy też pyły krzemionkowe [7]. W betonach tradycyjnych zawartość np. popiołu lotnego waha się w granicach 15-25% w stosunku do masy cementu. We wczesnym okresie dojrzewania mieszanki wg R. Berry`ego popiół oddziałuje w sposób fizyczny jako wypełniacz porów (co istotne jest z punktu widzenia poprawy mrozoodporności), a dopiero w dłuższym okresie wchodzi w reakcje chemiczne jako spoiwo glino-krzemianowe. [8].

Wydaje się natomiast, że odpady flotacyjne w większości przypadków nie są przydatne jako substancje wzbogacające wartości odżywcze gleb [9]. Jest to przede wszystkim spowodowane brakiem pewnych składników, spowodowanym procesem wzbogacania oraz często stwierdzaną nadmierną zawartością metali ciężkich.

Górnictwo rud metali nieżelaznych jest drugim po górnictwie węglowym wytwórcą odpadów. Powstaje w nim rocznie około 30 mln Mg odpadów w tym ponad 90%, tj. około 27 mln Mg przy wydobyciu i przeróbce rud miedzi. Na odpady górnicze z wydobycia i przeróbki rud miedzi składają się niemal wyłącznie odpady powstające w trakcie wzbogacania flotacyjnego tych rud. Odpady górnicze związane bezpośrednio z wydobyciem rud miedzi (np. kamień z robót przygotowawczych) w tej statystyce stanowią margines [10,11]. Polskie górnictwo miedziowe od początku swego istnienia deponuje 100% odpadów flotacyjnych w składowiskach terenowych. Mimo, że od samego początku eksploatacji złóż rud miedzi w Polsce poszukuje się możliwości zagospodarowania odpadów, to efekty tych poszukiwań są raczej skromne i jak dotychczas odpady te wykorzystuje się tylko do budowy obwałowań składowiska odpadów flotacyjnych. Liczne trudności z wdrożeniem różnych proponowanych sposobów wykorzystania odpadów, wskazują na to, że przemysł miedziowy pozostawi po sobie olbrzymie składowiska materiałów, które mogą stanowić albo bezużyteczny i uciążliwy balast dla środowiska albo przyszłą bazę surowcową regionu, w którym zamierać będzie wydobycie rud miedzi na skutek wyczerpywania się ich zasobów.

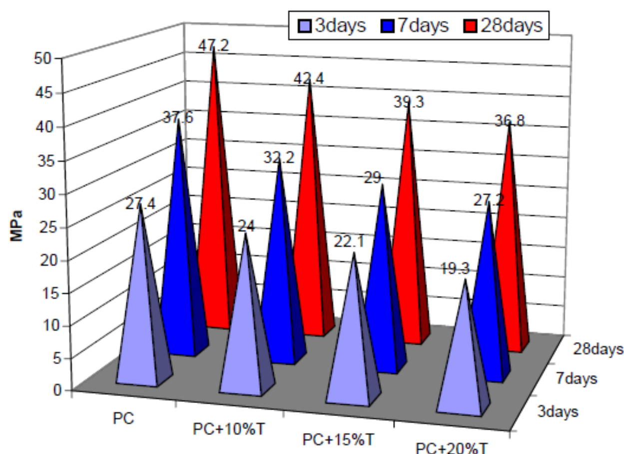
Z wymienionych kierunków zagospodarowania, których zasadność jest potwierdzana ciągle ponawianymi badaniami, praktyczne znaczenie może mieć zastosowanie odpadów jedynie w górnictwie jako materiał podsadzkowy oraz w budownictwie drogowym. Koncepcje te w zasadzie brane są pod uwagę w zakresie wykorzystania odpadów powstających na bieżąco i wyeliminowania budowy nowego składowiska.

W badaniach nad wykorzystaniem odpadów w drogownictwie, stwierdzono że trwałość nawierzchni drogowej z zastosowaniem odpadów flotacyjnych jest wyraźnie wyższa w porównaniu z nawierzchnią, w której zastosowano standardowe wypełniacze. Bardzo optymistyczne szacunki przewidują, że w związku z budową sieci autostrad w Polsce, możliwe byłoby wykorzystanie nawet 50% całkowitej ilości powstających w najbliższych latach odpadów po przeróbce rud miedzi.

Mimo zachęcających wyników badań, należy liczyć się z faktem, że w przyszłości, w rejonie dzisiejszego działania przemysłu miedziowego pozostaną znaczące nagromadzenia odpadów o charakterze złóż antropomorficznych, nie stanowiące - w świetle dzisiejszych kryteriów - dramatycznego zagrożenia ekologicznego. Jeśli w przyszłości pojawią się metody umożliwiające opłacalny odzysk metali z nagromadzonych odpadów flotacyjnych, przyszłe pokolenia będą musiały postawić sobie pytanie, czy warto naruszać pewną równowagę, jaka prawdopodobnie się wytworzy w składowiskach, aby pozyskać ponad 1 mln Mg miedzi, kilkaset Mg srebra oraz znaczne ilości minerałów baru, strontu, cyrkonu i niektórych metali rzadkich jak itr czy złoto.

Wyniki badań nad możliwością wykorzystania odpadów flotacyjnych do produkcji cementu są bardzo obiecujące. Przykładowo, analiza cementu portlandzkiego, wyprodukowanego z dodatkiem odpadów flotacyjnych z zakładu górniczego Veliki Krivelij wykazała, że jego właściwości były zbliżone do cementu wyprodukowanego z surowców naturalnych, potwierdzając, że odpady flotacyjne mogą być zamiennikiem margla w mączce surowcowej do produkcji cementu portlandzkiego [12].

Odpady flotacyjne mogą być również wykorzystane do produkcji mieszanek betonowych Badania wytrzymałościowe betonów z różnym dodatkiem odpadów flotacyjnych przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wyniki badań wytrzymałościowych masy betonowej [12]
PC-bez dodatku odpadów flotacyjnych
PC+10%T – z dodatkiem odpadów flotacyjnych

Wyniki analiz fizyczno-chemicznych wykazały, że zużycie wody potrzebnej do osiągnięcia standardowej spójności wzrosło z 25% wagowych dla cementu portlandzkiego z dodatkiem kruszyw naturalnych, do 27,8% wag - dla mieszanek z dodatkiem odpadów flotacyjnych w ilości 20% wagowych (rys. 1).

3. Wpływ dodatku odpadów flotacyjnych (z KGHM – ZWR Lubin) na właściwości wytrzymałościowe betonu przeznaczonego do produkcji kostek brukowych

Poniżej przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, mających na celu określenie wpływu dodatku odpadów flotacyjnych z Zakładu Wzbogacania Rud Lubin na wytrzymałość kostek brukowych. Program badań opracowano wykorzystując 4-punktowy plan eksperymentu, co umożliwiło wyznaczenie wpływu stosunku o/c czyli masy odpadów flotacyjnych do cementu (o/c = 0,05; 0,10, 0,15 i 0,20) przy jednakowym stosunku wodno-spoiwowym (w/s = 0,4) na właściwości wytrzymałościowe sześciennych kostek betonowych.

Zakres badań obejmował oznaczenie: nasiąkliwości wagowej (n_w) i wytrzymałości na ściskanie (R_c), ścieralności (na tarczy Böehmego) oraz odporności na działanie mrozu (mrozoodporności).

W badaniach stosowano następujące materiały: (tab. 1)
- Cement portlandzki CEM I 32,5R;
- Piasek (drobny - 25%, gruby - 75%);
- Odpad flotacyjny z ZWR Lubin;
- Stosunek (w/c) = 0,4.

Tabela 1

Plan eksperymentu

Numer punktu planu	Stosunek W/S	Dodatek odpadu O/C % m.c.
1	0,4	5
2		10
3		15
4		20

Skład mieszanki betonowej dla każdego punktu planu (tab. 1) wyliczono, przyjmując odpowiednie wartości stosunków w/s, o/c dla ustalonych proporcji mieszaniny kruszyw (tab. 2). Jako spoiwo zastosowano cement portlandzki. Właściwości obu tych materiałów podano w tablicy 3.

Tabela 2

Analiza sitowa kruszyw wyjściowych

Wymiar oczka sita	**Piasek drobny 0/0,5 mm**	**Piasek gruby 0/2 mm**	**Odpad flotacyjny z ZWR LUBIN**
[mm]	Pozostaje na sicie [%]		
2,0	-	9,3	-
1,0	-	18,6	-
0,5	8,9	40,3	-
0,4	4,3	21,3	-
0,25	61,2	7,5	24,3
0,125	18,5	2,0	47,6
0,075	9,7	1,2	21,9
<0,075	-	-	6,2

Próbki do badań po rozformowaniu dojrzewały przez 7 dni w warunkach laboratoryjnych: (wilgotność ww>90% i temperatura T= 20±2℃), a następnie przez 21 dni w warunkach powietrzno-suchych.

Tabela 3

Właściwości cementu i odpadu flotacyjnego

Składnik	**CEM I 32,5R**	**Odpad flotacyjny**
%		
CaO	63,5	11,9
MgO	1,7	4,3
SiO_2	18,5	57,2
Al_2O_3	5,0	4,2

Badania wytrzymałości na ściskanie R_c i nasiąkliwości n_w wykonano według normy PN-88/B-06250. Mrozoodporność betonu oznaczono na belkach o wymiarach 8×8×35 cm - próbkę zamrażano w powietrzu. Przeprowadzono 100 cykli zamrażania i rozmrażania, wykonując 2 cykle na dobę: 4 godziny zamrażania w temperaturze -20±2℃ i rozmrażania w temperaturze

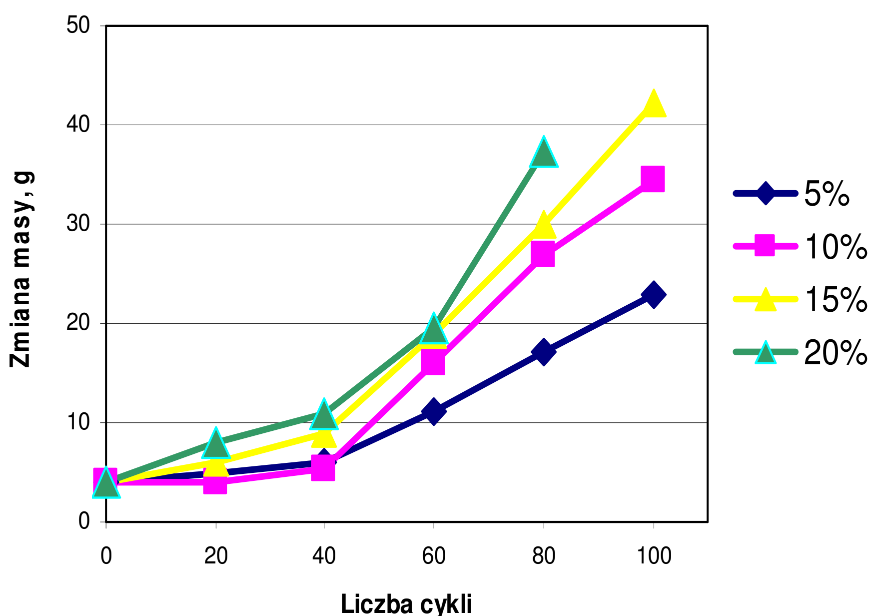
+20±2°C. W trakcie badań prowadzono obserwacje powierzchni oraz pomiary masy próbek.

Wyniki pomiarów wytrzymałości na ściskanie i nasiąkliwości zamieszczono w tabeli 4, a mrozoodporności przedstawiono na rysunku 2.

Tabela 4

Wyniki pomiarów nasiąkliwości i wytrzymałości mieszanki betonowo-odpadowej

Beton serii	Nasiąkliwość wagowa n_w [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa] R_c- po 28 dniach (średnia z 5 pomiarów)
0 (0 %)	6,6	30,4
1 (5%)	6,2	26,3
2 (10%)	5,8	22,5
3 (15%)	5,0	20,0
4 (20%)	4,3	12,2



Rys. 2. Zmiany masy próbek zamrażanych w powietrzu (w 100 cyklach)

Badanie ścieralności wykonano wg PN-B-04111, poprzez ścieranie na tarczy Böehmego, dla trzech próbek. Otrzymane i uśrednione wyniki zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5

Właściwości cementu i odpadu flotacyjnego

Oznaczenie próbki	**Liczba obrotów/ ubytek wysokości w mm**			
	110	**220**	**330**	**440**
5%	0,7	1,8	2,7	3,9
10%	1,0	2,2	3,2	4,5
15%	1,4	2,8	3,9	5,2
20%	2,1	3,2	4,3	6,0

4. Omówienie wyników badań

Z badań właściwości fizycznych wynika, że uzyskane nasiąkliwości wagowe ulegają zmniejszeniu wraz ze zwiększaniem dodatku odpadów flotacyjnych, co wpływa korzystnie na redukcję nasiąkliwości betonu. W przypadku badań wytrzymałości na ściskanie (po 28 dniach sezonowania) stwierdzono pogorszenie wytrzymałości wraz ze zwiększaniem ilości dodawanego odpadu (w przypadku 20% zawartości odpadu uzyskano wytrzymałość wynoszącą zaledwie 12 MPa). Ponadto w przypadku badań mrozoodporności również stwierdzono niekorzystny wpływ odpadów. Próbki zawierające 20% odpadu uległy zniszczeniu już po około 80 cyklach zamrażania/rozmrażania, co jest bardzo niekorzystne, gdyż w badaniach normowych wymaga się przeprowadzenia aż około 300 cykli. Próbki o 15 i 20% zawartości odpadu ulegały stopniowej destrukcji, objawiającej się w postaci siatki drobnych spękań widocznych gołym okiem. Osłabienie mrozoodporności objawiało się stopniowym zwiększaniem masy badanych próbek (aż do zniszczenia próbki).

Wyniki badań ścieralności, można uznać że są zbliżone do siebie. Próbki o najmniejszym udziale odpadów w swym składzie charakteryzowały się niewielkim, bo zaledwie 4 mm ubytkiem, natomiast próbki o największej zawartości odpadów miały ubytek wysokości wynoszący zaledwie 6 mm, co - jeśli się uwzględni znaczną zawartość odpadów - można uznać za nieistotną różnicę w ocenie poszczególnych próbek.

Wnioski

Działalność górnicza przyczynia się do szybkiego rozwoju gospodarczego i społecznego regionu w którym jest zlokalizowana, ale powoduje również, w sposób bezpośredni lub pośredni, negatywne oddziaływanie na środowisko. Faktem oczywistym jest to, że każdej eksploatacji złóż towarzyszy wydobywanie skał płonnych i składowanie ich na powierzchni ziemi lub w wyrobiskach górniczych. Podobnie jest na dalszym etapie procesu produkcyjnego, gdzie w większości procesów przetwórczych surowca użytecznego, powstają duże ilości odpadów. Szczególnie uwagę skupiają pozostałości z procesu flotacji rud miedzi. Ślady tej działalności górniczej widoczne są w postaci licznych hałd i składowisk.

Od wielu lat problem odpadów absorbuje badaczy, zainteresowanych możliwością wykorzystania ich jako substytutów niektórych surowców mineralnych używanych w budownictwie drogowych.

Autorzy w niniejszym artykule omawiają wyniki prac związanych z opracowaniem odpowiedniego składu betonu. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że dodatek odpadu flotacyjnego ma istotny wpływ na właściwości stwardniałego betonu. Korzystne oddziaływanie odpadu flotacyjnego przejawia się poprawą szczelności i zmniejszeniem porowatości produktu, natomiast skutkuje pogorszeniem zarówno mrozoodporności jak i wytrzymałości betonu na ściskanie. Jednakże, wyniki te są na tyle zadawalające, że „zachęcają" do dalszych, bardziej wnikliwych badań.

Literatura

[1] Sybilski D. i in., 2004: Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych. IBDiM, Warszawa.

[2] Williams P. T., 2005: Waste Treatment and Disposal. John Wiley & Sons Ltd, Leeds.

[3] Ozel A., Turan S., Coruh S., Ergun O. N., 2006: "Production of brown and black pigments by using flotation waste from copper slag". Waste Management Resource, vol. 24, No. 2, pp. 125-133.

[4] Mukhamedzhanova M. T., Irkakhodzhaeva A. P., 1994: „Cearmic tiles utilizing waste material from a copper-enriching plant". Glass and Ceramic, vol. 51, No. 9-10, pp. 37-38,.

[5] Coruh S. 2007: "Copper flotation waste". Encyclopedia of Earth. Ed. Cutler J. Cleveland, Washington.

[6] Gawlicki M. 2007: "Odpady jako surowce w procesach wytwarzania spoiw hydraulicznych". Zrównoważone wykorzystanie surowców w Europie – surowce z odpadów. Wyd. IGSMiE PAN w Krakowie, s. 201-213.

[7] Berry R. et al., 1994: Hydration in high-volume fly ash binders. ACI Material J., Vol. 91.

[8] Neville A. M., 2000: Właściwości betonu. Wydanie czwarte. Cement Polski, Kraków.

[9] Chodak. T., Kaszubkiewicz J., Mizera A., 2005: „Badania wartości glebotwórczej odpadów flotacyjnych i składowiska skały płonnej K-I w rejonie Iwin

w aspekcie ich podatności na zabiegi rekultywacyjne”. Czasopismo naukowo-techniczne górnictwa rud CUPRUM, nr 1, s. 57-95.
[10] Łuszczkiewicz A., 2000: „Koncepcje wykorzystania odpadów flotacyjnych z przeróbki rud miedzi w regionie Legnicko-Głogowskim”. Inżynieria Mineralna, nr styczeń – czerwiec, s. 25-35.
[11] Traczyk S., 1997: „Gospodarka mineralnymi surowcami odpadowymi z górnictwa i energetyki. Przegląd Geologiczny, vol. 45, nr 5, s. 500-504.
[12] Miletic S.; “Portland cement klinker production with the copper flotation waste”.

Using wastes from mining activity as a substitute for raw materials

Key words: flotation tailings, waste treatment and disposal

Tailings from copper ore treatment are one of the troublesome type of waste, with regard to their amount, produced in copper industry. They are collected in tailing ponds. Their storing in tailing ponds is very expensive at present due to high fees for exploiting the environment. This situation results in searching and implementation of new technologies enabling the reduction of the amount of tailings stored in tailing ponds. One of such technologies is the use of tailings for backfilling and isolation of cavings in copper ore mines.